

**О.О. БАРАНОВ**, канд. техн. наук, доц., НАКУ «ХАИ», Харьков;  
**М.С. РОМАНОВ**, канд. техн. наук, НАКУ «ХАИ», Харьков;  
**А.А. БРЕУС**, инж., НАКУ «ХАИ», Харьков;  
**Р.В. ВОРОПАЙ**, инж., НАКУ «ХАИ», Харьков.

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННОГО ПОКРЫТИЯ TiN НА ТВЕРДОСПЛАВНОМ РЕЖУЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ 14X17N2**

Досліджена стійкість вакуумно-плазмового покриття TiN на ріжучих пластинах із твердого сплаву марки T15K6 під час токарної обробки сталі 14X17N2. Виявлено, що при розміщенні підкладки на відстані 250 мм від виходу плазмоведа перпендикулярно до її вісі, найбільшу стійкість мають пластини, що були розташовані біля центра підкладки, а найменшу – пластини на периферії. Зниження стійкості при зміні радіусу вздовж підкладки від 40 до 160 мм складає 42 %. На операціях напівчистового точіння підвищення стійкості складає 2,8 рази для пластин квадратної, шестигранної та п'ятигранної форми. Для операцій чистового точіння відносне підвищення стійкості складає 3,0-3,1 рази для різців квадратної та шестигранної форми, та у 2,1 рази – для різців п'ятигранної форми.

When turning steel 14H17N2, tool life of carbide inserts of hard alloy grade T15K6 coated by TiN vacuum-plasma coating is investigated. When placing the substrate with the inserts at a distance of 250 mm from the plasma duct exit perpendicular to its axis, the greatest tool life is achieved for the inserts located near the center of the substrate, the smallest - for the inserts at its periphery. At the radius increasing from 40 to 160 mm along the substrate, the fall of the tool life is 42%. At semi-rough turning, the increase in tool life is 2.8 times for square, hexagonal and pentagonal shaped plates. At finish turning, a relative increase in tool life is 3.0-3.1 times for square and hexagonal shaped plates, while for the pentagonal shaped plates - 2.1 times only.

Исследована стойкость вакуумно-плазменного покрытия TiN на режущих пластинах из твердого сплава марки T15K6 при токарной обработке стали 14X17N2. Установлено, что при размещении подложки на расстоянии 250 мм от выхода плазмоведа перпендикулярно его оси, наибольшую стойкость имеет пластины, находившиеся вблизи центра подложки, наименьшую – пластины на ее периферии. Падение стойкости при изменении радиуса вдоль подложки от 40 до 160 мм составляет 42 %. На операциях получистового точения наблюдается увеличение стойкости в 2,8 раза для пластин квадратной и шестигранной и пятигранной формы. Для операций чистового точения отмечено относительное увеличение стойкости инструмента в 3,0-3,1 раза для резцов квадратной и шестигранной формы, и в 2,1 раза - для резцов пятигранной формы.

Осаждение плазменно-ионных покрытий на режущий инструмент с целью повышения его износостойкости широко применяется в промышленности в течение более двадцати пяти лет [1-4]. В данной работе рассматривается эффективность использования нитрида титана (TiN) при его осаждении на поверхность твердосплавного режущего инструмента методом КИБ. Известно [1], что стойкость инструмента критически зависит от толщины покрытий – происходит падение стойкости при толщине меньше некоторого критического значения. Таким образом, даже если инструменты имели до осаждения покрытия одинаковый период стойкости, после осаждения может возникнуть разброс стойкости. В производстве подобный

разброс стойкости может серьезно повлиять на экономические показатели, усложняя организацию инструментального хозяйства [5]. Поэтому одной из задач исследования стойкости резцов с покрытием было определение зависимости стойкости от положения в камере при осаждении покрытия. Осаждение покрытия проводилось вакуумно-дуговым методом [6] на установке «Булат-6», схема расположения резцов в вакуумной камере и фотография оснастки приведены на рис. 1.

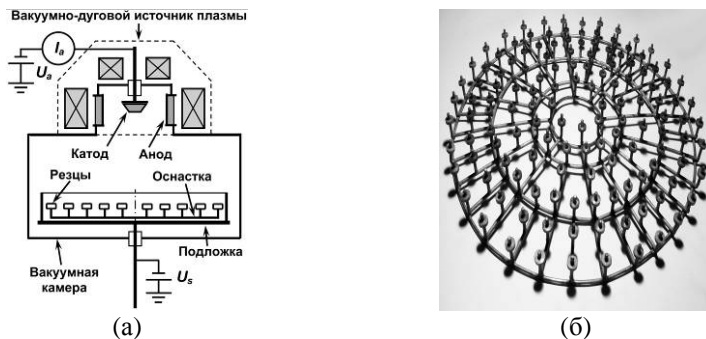


Рис. 1. Схема расположения резцов при осаждении покрытия (а) и фотография технологической оснастки для закрепления резцов (б)

При осаждении, подложка с пластинами располагалась на расстоянии 250 мм от выхода плазмоведа перпендикулярно его оси.

Плазменно-ионной обработке подвергались сменные многогранные пластины с отверстием и стружколомающими канавками на одной стороне, изготовленные из твердого сплава марки Т15К6 (ГОСТ 3883-74, подгруппа применения ISO P10) и предназначенные для токарных проходных резцов.

Использовались пластины трех видов:

- пятигранной формы по ГОСТ 19065-80 – 10124-110416 (обозначение по ГОСТ 19042-80) или PNMM-110416 (обозначение по ISO) с длиной режущей кромки  $l = 11,5$  мм, толщиной  $s = 4,76$  мм и радиусом  $r = 1,6$  мм (масса  $m = 9,96$  г);
- квадратной формы по ГОСТ 19052-80 – 03124-150416 (ГОСТ 19042-80) или SNMM-150416 (ISO) с длиной режущей кромки  $l = 15,875$  мм, толщиной  $s = 4,76$  мм и радиусом  $r = 1,6$  мм (масса  $m = 11,2$  г), со стружколомающей канавкой типа 1;
- шестигранной формы с углом  $80^\circ$  по ГОСТ 19048-80 – 02114-080404 (ГОСТ 19042-80) или WNUM-080404 (ISO) с длиной режущей кромки  $l = 8,7$  мм, толщиной  $s = 4,76$  мм и радиусом  $r = 0,4$  мм (масса  $m = 7,57$  г).

Осаждение вакуумного ионно-плазменного покрытия производилось на следующих режимах:

- 1) ионная очистка в тлеющем разряде: давление  $P = 2,66$  Па, напряжение на подложке  $U_s = 1200$  В, время обработки  $t = 20$  минут;

2) ионная очистка в дуговом разряде ионами Ti: давление  $P = 6,65 \cdot 10^{-3}$  Па, напряжение на подложке  $U_s = 1000$  В, ток дуги  $I_a = 100$  А, ток стабилизирующей катушки  $I_f = 1,6$  А, ток фокусирующей катушки  $I_g = 0,6$  А, время обработки  $t = 6$  минут;

3) нанесение покрытия Ti: давление  $P = 6,65 \cdot 10^{-3}$  Па, напряжение на подложке  $U_s = 220$  В, ток дуги  $I_a = 100$  А, ток стабилизирующей катушки  $I_f = 1,6$  А, ток фокусирующей катушки  $I_g = 0,6$  А, время обработки  $t = 1,5$  минуты;

4) нанесение покрытия TiN: давление  $P = 0,13$  Па [7], напряжение на подложке  $U_s = 220$  В, ток дуги  $I_a = 100$  А, ток стабилизирующей катушки  $I_f = 1,6$  А, ток фокусирующей катушки  $I_g = 0,6$  А, время обработки  $t = 27$  минут, используемый газ – азот  $N_2$ .

Общее время плазменно-ионной обработки – 54,5 мин, из них время осаждения – 27 минут.

Стойкость режущего инструмента на износ исследовалась при токарной обработке коррозионностойкой, жаропрочной стали мартенситно-ферритного класса 14X17H2 (ЭИ268) [8]. С точки зрения механической обработки, этот материал относится ко второй группе труднообрабатываемых материалов: коррозионно-стойкие хромистые и сложнелегированные стали ферритного, мартенситно-ферритного и мартенситного классов [9].

Инструмент из твердого сплава марки T15K6 рекомендуется для предварительной, получистовой и чистовой обработки этой группы сталей и сплавов при их прочности не более 1200 МПа и глубине резания не более 5 мм при подаче не более 0,3 мм/об [9]. Для закрепления пластин использовался резец сборный с многогранной пластиной с креплением клином, сечение державки резца  $25 \times 20$  мм<sup>2</sup> [9].

Обработка проводилась на токарно-винторезном станке модели 1K62 (мощность двигателя 10 кВт, ступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя 12,5-2000 мин<sup>-1</sup>, продольной подачи 0,070-4,16 мм/об, поперечной подачи 0,035-2,08 мм/об).

Для механической обработки были выбраны следующие режимы обтачивания продольной подачей [9]:

- получистовая обработка: скорость резания  $V_p = 230$  м/мин, глубина резания  $t_p = 1,0$  мм при подаче  $s = 0,21$  мм/об;

- чистовая обработка: скорость резания  $V_p = 280$  м/мин, глубина резания  $t_p = 0,5$  мм при подаче  $s = 0,11$  мм/об.

Испытанию на износ подвергались пластины с покрытием одной партии осаждения. Зависимости износа для пластин, размещенных на расстоянии  $r = 40$  мм от центра подложки при осаждении, являются результатом усреднения по двум образцам пластины 10124-110416 и по трем образцам пластин 03124-150416 и 02114-080404; для  $r = 70, 100, 130$  и  $160$  мм - по трем образцам пластин каждого вида.

При определении износа использовался инструментальный микроскоп БМИ-1Ц с ценой деления 5 мкм. Зависимости износа  $h_3$  по главной задней

поверхности твердосплавных режущих пластин без покрытия и с покрытием, представлены на рис. 2 – для пластин пятигранной формы, рис. 3 – для пластин квадратной формы, и рис. 4 – для пластин шестигранной формы. Критериями износа режущих пластин для операций получистовой и чистовой обработки были выбраны износ по задней поверхности резца 0,4 мм и 0,3 мм, соответственно [9].

Наиболее высокая стойкость для резцов без покрытия при получистовой обработке наблюдается у пластин квадратной формы – 12 минут, примерно такая же – 11,5 минут, - у пластин шестигранной формы, и в 1,3 раза меньшая – 9 минут, - у пластин пятигранной формы. Таким образом, для главного угла в плане  $\varphi = 45-50^\circ$  условия резания практически одинаковы, однако, при уменьшении  $\varphi$  до  $36^\circ$  (пластины пятигранной формы), условия резания ухудшаются. При этом отмечено значительное действие сходящей стружки на вспомогательную режущую кромку пластины, результатом чего является ее износ. Для чистовой обработки тенденция сохраняется – лучшие результаты показали пластины квадратной и шестигранной формы (8,3 и 8 минут, соответственно), в то время как стойкость пятигранных режущих пластин составила 6,4 минуты (в 1,3 раза меньше).

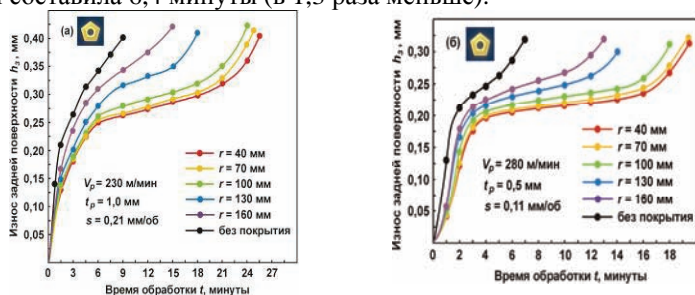


Рис. 2. Зависимость износа  $h_3$  твердосплавных режущих пластин пятигранной формы при обработке: (а) – получистовой; (б) – чистовой

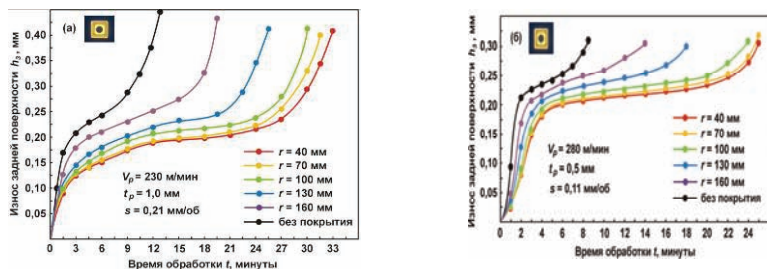


Рис. 3. Зависимость износа  $h_3$  твердосплавных режущих пластин квадратной формы при обработке: (а) – получистовой; (б) – чистовой

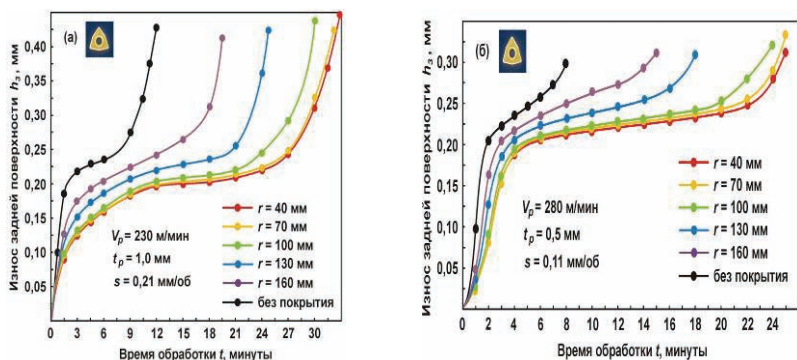


Рис. 4. Зависимость износа  $h_z$  твердосплавных режущих пластин шестигранной формы при обработке: (а) – полуцистовой; (б) – чистовой

Основной износ резцов с покрытием происходил по главной задней поверхности. Хотя на передней поверхности отмечено возникновение и развитие лунки износа, этот процесс не является доминирующим. В целом, покрытие позволяет существенно повысить стойкость инструмента. Так, при полуцистовой обработке, наибольшая стойкость пластин квадратной формы составляла 33 минуты и была увеличена в 2,8 раза по сравнению с аналогичной пластиной без покрытия. Наибольшая стойкость пластин шестигранной формы составляла 32 минуты и была также увеличена в 2,8 раза по сравнению с пластиной без покрытия. Подобные результаты – 25,5 минут и 2,8 раза – наблюдаются и для пластин пятигранной формы. При чистовой обработке, наибольшая стойкость пластин квадратной формы - 25 минут, - соответствует увеличению в 3 раза, наибольшая стойкость пластин шестигранной формы – 24,8 минуты, - соответствует увеличению в 3,1 раза, а наибольшая стойкость пластин пятигранной формы – 19,2 минуты, - соответствует увеличению в 2,1 раза.

Как видно, на операциях полуцистового точения наблюдаются примерно одинаковые результаты для пластин квадратной и шестигранной и пятигранной формы (увеличение стойкости в 2,8 раза). В то же время, для операций чистового точения отмечено большее относительное увеличение стойкости инструмента (в 3,0-3,1 раза) для резцов квадратной и шестигранной формы, и значительно меньший рост стойкости (в 2,1 раза) для резцов пятигранной формы.

Кроме того, важным результатом является существенная неравномерность распределения стойкости инструментов с покрытием, в зависимости от расположения образцов относительно центра подложки в вакуумной камере при осаждении покрытия. Для всех пластин, наибольшую стойкость имеют образцы, расположенные наиболее близко к центру подложки ( $r = 40$  мм), наименьшую – расположенные на наибольшем

удалении ( $r = 160$  мм). Падение стойкости пластины с покрытием на этом промежутке составляет 42 %.

Полученные результаты по величине и характеру износа можно объяснить следующим образом [1]. Стойкость твердосплавных инструментов возрастает при осаждении покрытия, поскольку, во-первых, покрытие снижает адгезионное взаимодействие инструмента с обрабатываемым материалом, в результате чего уменьшается интенсивность адгезионного изнашивания, и, во-вторых, покрытие является эффективным диффузионным барьером, которое препятствует диффузии кобальтовой связки в стружку и последующему удалению твердого сплава. Покрытие на передней поверхности также снижает адгезионное взаимодействие со стружкой и снижает максимальные нормальные напряжения. Что касается неравномерности распределения стойкости покрытия, то, вероятнее всего, она вызвана неодинаковостью толщины покрытий, осажденных в разных областях подложки, причиной чего является распределение плотности обрабатывающего ионного потока, присущее вакуумно-дуговому источнику плазмы. Подобная зависимость стойкости от толщины покрытия на твердосплавных инструментах отмечалась и ранее [10]. Таким образом, проведенное исследование показало необходимость разработки специальных устройств, которые позволяют управлять распределением плотности обрабатывающего ионного потока от вакуумно-дугового источника плазмы. Подобные устройства позволили бы устранить разброс стойкости инструмента после плазменно-ионной обработки и повысить производительность процесса осаждения покрытия за счет увеличения количества одновременно обрабатываемых инструментов.

**Список литературы 1.** Внуков Ю.Н. Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент / Ю.Н. Внуков. – Киев: Техника, 1992. – 143 с. 2. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / А.С. Верещака. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с. 3. Костюк Г.И. Идеология построения системного подхода, учета законов и закономерностей развития техники при создании гибких технологических систем высокой и сверхвысокой производительности на Украине / Г.И. Костюк, О.О. Баранов, Н.Н. Бычок // Вісті Академії інженерних наук України. – Вип. 3 (33). – Київ, 2007. – С. 112 – 125. 4. А.А. Андреев, Л.П. Саблев, В.М. Шулаев, С.Н. Григорьев. Вакуумно-дуговые устройства и покрытия. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005. – 236 с. 5. Матлахов В.П. Зависимость физико-механических свойств нитрид-титановых покрытий от давления азота / В.П. Матлахов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2006. – №2(10). – С. 93 – 96. 6. Стали и сплавы. Марочник: справ. / В.Г. Сорокин, М.А. Гервасьев, В.С. Палеев и др. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 608 с. 7. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: справ. / Я.Л. Гуревич, М.В. Горохов, В.И. Захаров и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с. 8. Верещака А.С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями / А.С. Верещака, И.П. Третьяков. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с.

*Поступила в редколлегию 6.07.2011*